

# PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2002-314176

(43)Date of publication of application : 25.10.2002

(51)Int.Cl. H01S 3/094

(21)Application number : 2001-114238

(71)Applicant : CENTRAL GLASS CO LTD

(22)Date of filing : 12.04.2001

(72)Inventor :  
INOUE HIROYUKI  
KUBOTA YOSHINORI  
NISHIMURA NATSUYA  
MIURA SEIKI  
TEJIMA TAKUYA  
FUJIWARA SEIJI

(54) EXCITING METHOD OF OPTICAL AMPLIFIER OR LASER OSCILLATOR WITH 1.4 TO 1.52 . m BAND

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide the exciting method of an optical amplifier or a laser oscillator with 1.4 to 1.52 . m band.

SOLUTION: The optical amplifier with 1.4 to 1.52 . m band which is provided with an exciting light source, multiplexer/demultiplexer and an amplification optical waveguide is excited by the two or above types of different wavelengths of at least one wavelength from a range in the wavelengths 0.65 to 0.75 . m and one wavelength from a range in the wavelengths 1.35 to 1.45 . m.

## LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2003 Japan Patent Office

## \* NOTICES \*

JPO and NCIP are not responsible for any damages caused by the use of this translation.

- 1.This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
- 2.\*\*\* shows the word which can not be translated.
- 3.In the drawings, any words are not translated.

---

CLAIMS

---

## [Claim(s)]

[Claim 1] In 1.4-1.52-micrometer band optical amplifier equipped with the excitation light source, a multi/demultiplexer, and the optical waveguide for magnification at least The core section of the optical waveguide for magnification contains Tm. The range of 0.65-0.75-micrometer wavelength to at least one wave (excitation wavelength 1), The excitation approach of 1.4-1.52-micrometer band optical amplifier characterized by exciting from the range of 1.35-1.45-micrometer wavelength on at least one wave (excitation wavelength 2) of mutually different wavelength [ two or more kinds of ].

[Claim 2] The excitation approach of 1.4-1.52-micrometer band laser oscillation machine characterized by exciting on at least one wave (excitation wavelength 2) of mutually different wavelength [ two or more kinds of ] in the excitation light source, a multi/demultiplexer, and 1.4-1.52-micrometer band laser oscillation machine equipped with the optical waveguide for magnification from the range of the range of 0.65-0.75-micrometer wavelength to at least one wave (excitation wavelength 1), and 1.35-1.45-micrometer wavelength at least.

[Claim 3] The excitation approach of the optical amplifier of 1.4-1.52-micrometer band according to claim 1 or 2 characterized by the core section of the optical waveguide for magnification consisting of at least one kind of glass chosen from the halide oxide glass which added Tm, halide glass, chalcogenide glass, KARUKO halide glass, a tellurite glass, bismuthate glass, a gel money toga lath, and gallium acid chloride glass, or the excitation approach of 1.4-1.52-micrometer band laser oscillation machine.

[Claim 4] Claim 1 to claim 3 characterized by at least one of the excitation light sources being semiconductor laser is the excitation approach of 1.4-1.52-micrometer band optical amplifier a publication, or the excitation approach of 1.4-1.52-micrometer band laser oscillation machine either.

[Claim 5] The excitation power of the excitation wavelength chosen from the range of 0.65-0.75-micrometer wavelength (P1), When the ratio (R) of the excitation power (P2) of the excitation wavelength chosen from the range of 1.35-1.45-micrometer wavelength is at  $R = P1 / (P1 + P2) \times 100\%$  and is expressed, Claim 1 - claim 4 which are characterized by being in within the limits whose power ratio is  $0\% < R \leq 82.5\%$  are the excitation approach of 1.4-1.52-micrometer band optical amplifier a publication, or the excitation approach of 1.4-1.52-micrometer band laser oscillation machine either.

---

[Translation done.]

## \* NOTICES \*

JPO and NCIP are not responsible for any damages caused by the use of this translation.

- 1.This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
- 2.\*\*\* shows the word which can not be translated.
- 3.In the drawings, any words are not translated.

## DETAILED DESCRIPTION

## [Detailed Description of the Invention]

[0001]

[Field of the Invention] This invention relates to the excitation approach of the optical amplifier used by the optical communication of 1.4-1.52-micrometer band etc., or a laser oscillation machine.

[0002]

[Description of the Prior Art] In optical communication, 1.55-micrometer band which is the minimum loss wavelength of a quartz fiber, and 1.3-micrometer band which is 0 dispersive-wave length have been used. Researches and developments of an optical amplifier were actively done to these wavelength ranges, and a big success has been stored especially with 1.55-micrometer band. Recent years come, high-speed large capacity-ization of the Internet or data transmission is called for, and wave-length multiple telecommunication (WDM) is being put in practical use from a viewpoint of the increment in channel capacity. However, only with 1.55-micrometer band, capacity might be insufficient someday and the motion which asks for another band came out. The demand referred to as wanting to use the large transmitted wave length range whole region of the quartz fiber to 1.3 to 1.7 micrometers for a communication link especially is strong. For this reason, research of 1.47-micrometer band which added Tm, or 1.65-micrometer band fiber amplifier is done briskly.

[0003]

[Problem(s) to be Solved by the Invention] The proposal which uses the fiber of the low phonon glass which added Tm for magnification or laser oscillation of 1.47-micrometer band is made ( Rareearth-doping fiber laser and amplifiers pp49-53. besides 1988 14th Europe [ per year ] optical committee minutes, and D.N.Payne, and IEEE.J.Quantum Electronics vol.24(6) (1988) 920-923). The level of Tm is shown in drawing 1 . Magnification of 1.47-micrometer band is performed using the induced emission process of 3H4 →3F4, and has 1.4-1.52-micrometer broad gain and a magnification band in fact. As the excitation approach, the approach (JP,5-275792,A) of exciting two steps by 1.06 micrometers, the approach (JP,4-265251,A) of exciting 3H4 of Tm directly with 0.7-0.89-micrometer band, the approach (JP,4-180279,A) of exciting two steps with 1.2-micrometer band, etc. are indicated. However, the life time of fluorescence of 3H4 level of Tm is shorter than the life time of fluorescence of 3F4, and it is known that it is difficult to acquire the inverted population required for magnification or laser oscillation. Such a property is called self-halt (Self terminating) device, and is made unsuitable for efficient magnification or laser oscillation. For this reason, in order to form 3F4 into a short life, the approach (JP,4-265251,A, JP,5-145168,A, JP,7-45899,A) of adding Eu, Tb, Ho, Pr, etc. is indicated. However, if it adds more than fixed concentration, since these coadditive elements will require the skirt of absorption also for 1.4-1.52-micrometer band of the purpose wavelength, will produce the energy transfer which is not desirable and will have a bad influence on the magnification effectiveness of 1.4-1.52-micrometer band, the presentation of a magnification medium has a limit. Moreover, although the proposal which excites Tm addition fiber with two waves is also made, many are the sources of short wave Nagamitsu using a rise conversion process (for example, JP,5-319858,A, JP,8-307000,A, etc.).

[0004] On the other hand, research aiming at improvement in excitation efficiency and power conversion efficiency is recently becoming active. It is shown by JP,2001-007426,A and JP,2001-024263,A that it is more efficient than one conventional wave or two-wave excitation, and can amplify by two-wave excitation. Moreover, OFC2001 Technical digest series besides S.Aozasa, PD1, and OFC2001 Technical digest series besides F.Ray and PD2 have reported that the power conversion efficiency which exceeds 40% by the one-wave excitation by 1.40 micrometers or two-wave excitation (1.24 micrometers and 1.40 micrometers) is acquired.

[0005] However, by the approach of S.Aozasa and others excited with one wave with a wavelength of 1.40 micrometers, since there is no corresponding absorption, it cannot excite to upper level efficiently from 3H6 which are a ground state (refer to drawing 1 ). Moreover, since it will excite in process of [ complicated ] 3H6 →3H5 →3F4 →3H4 which are the bottom level of luminescence and passes along 3F4 which are the bottom level of luminescence by F.Ray's and others approach, it cannot be said to be the optimal excitation approach which forms the inverted population. On the other hand, since the direct excitation from the base is used by the approach of JP,2001-007426,A and the induced emission of 3H4 →3H6 happens by the powerful excitation light of 0.8-micrometer band although it is the excitation approach better than the two aforementioned law, it cannot necessarily be said that it is suitable for efficient excitation. By the approach of JP,2001-024263,A, although the fault of the induced emission by excitation light is conquered, there is room of an improvement at the point of quantum efficiency.

[0006]

[The concrete means for solving a technical problem] Comprehensively in consideration of said problem, wholeheartedly, as a result of examination, this invention persons found out the excitation approach which controls, is efficient and it not only can form the inverted population efficiently, but can amplify radiation of 3H4 →3H6 between 3H4 and 3F4, and reached this invention.

[0007] That is, this invention offers efficient 1.4-1.52-micrometer band optical amplifier or a laser oscillation machine as the excitation light source at least in 1.4-1.52-micrometer band optical amplifier or laser oscillation equipment which used as the magnification medium optical waveguide which contained Tm to the core by exciting on at least one wave of mutually different wavelength [ two or more kinds of ] from the range of 0.65-0.75 micrometers to at least one wave, and the range of 1.35-1.45 micrometers.

[0008] This invention is explained in full detail below.

[0009] The low phonon energy ingredient not more than phonon energy 700cm<sup>-1</sup> fits the efficient optical amplification or the laser

oscillation of 1.4–1.52-micrometer band (energy difference: about  $6800\text{cm}^{-1}$ ) which added Tm, and a high phonon energy ingredient (about [ Generally /  $1000\text{cm}^{-1}$  ] ) like a silica system oxide or a boric-acid system oxide is made unsuitable. As such a low phonon energy glass ingredient, halide glass, chalcogenide glass, halide oxide glass, KARUKO halide glass, a tellurite glass (tellurite glass), bismuthate glass, a gel money toga lath, gallium acid chloride glass, etc. are known. However, these low phonon energy glass ingredients are well known also as a rise conversion laser ingredient, excitation energy is consumed by luminescence of red or blue and it is known for the usual excitation approach that the luminous efficiency of 1.4–1.52-micrometer band is very low. Moreover, the life time of fluorescence of 3H4 is shorter than the life time of fluorescence of 3F4 of the bottom level of luminescence, and effectiveness is very low, even when it considers as the example of representation of a self-halt device, it is known that the laser oscillation itself is difficult and it succeeds in an oscillation (for example, J.Y.Allain other s, Electronics lett.25 (1989) 1660–1662). For this reason, neither was the optimal approach although the above-mentioned various approaches had been tried.

[0010] To these approaches, this invention is exciting on at least one wave of mutually different wavelength [ two or more kinds of ] from the range of at least one wave and 1.35–1.45-micrometer wavelength from the range of 0.65–0.75-micrometer wavelength, and formation of the inverted population becomes easy, moreover radiation of 3H4 → 3H6 cannot take place easily, and it finds out that magnification or laser oscillation is possible efficient by low excitation power.

[0011] The excitation approach of this invention is explained in more detail ( drawing 2 ). First, Tm ion contained to the core of optical waveguide is excited to ground state (3H6) → 3F2 or 3F3 by at least one wave of excitation light (it considers as the excitation light 1 hereafter) chosen from the wavelength of 0.65–0.75 micrometers (excitation process 1). next, pass a non-radiated relaxation process (radiation process 1) — it is eased by 3H4 and luminescence or magnification of 1.4–1.52-micrometer band is produced in transition (radiation process 2) of 3H4 → 3F4. Next, it excites on the sublevel of level (3F4) → 3H4 under luminescence by at least one wave of excitation light (it considers as the excitation light 2 hereafter) chosen from the range of 1.35–1.45-micrometer wavelength (excitation process 2). By this excitation, it decreases a 3F4 existence probability effectually, and a self-halt device is not only avoidable, but can acquire the highest quantum efficiency. Finally, luminescence of 1.4–1.52-micrometer band arises by 3H4 → 3F4 (radiation process 2) again. Moreover, by this excitation approach, there is the description efficiently decreased in a 3H5 existence probability by the process (excitation process 3) of 3H5 → 3F2 by the excitation light 2.

[0012] When a 3H5 existence probability increases, it turns out that excitation state absorption (ESA:Excited State Absorption) arises in a 1.4–1.7-micrometer very large wavelength region, and magnification effectiveness is remarkably reduced from the absorption spectrum and ESA spectrum ( drawing 3 ) of Tm. Although this invention can avoid this ESA efficiently, the excitation light of further 1.5–1.7-micrometer band may be added. in order that this approach may reduce the ESA loss near 1.5 micrometer (3H5 → 3F3) — a long wave — it is the approach which is effective in improving the gain property by the side of merit (T. Proceedings OAA'99 besides Kasamatsu, PDP1), and attracts attention as gain wavelength shift Tm addition fiber amplifier (GS-TDFA:Gain Shifted Thulium Doped Fiber Amplifier).

[0013] It is the semi- 3 level process in which it used as a ground level of imagination of 3F4, and formation of the inverted population is very easy as drawing 2 shows by the excitation approach of this patent. Moreover, by this approach, since a strong light of 0.8-micrometer band equivalent to the energy difference of 3H4 → 3H6 does not exist, stimulated emission of 3H4 → 3H6 cannot happen easily, and the transition probability of 3H4 → 3F4 can be raised. Moreover, also in the excitation wavelength 1, since 0.67–0.72-micrometer band can avoid 3H4 → 1D2 and the rise conversion process of 3H5 → 1G4 to coincidence, it is especially desirable. Moreover, since 1.35–1.42-micrometer band cannot cause a noise easily to the magnification process of 3H4 → 3F4 in the excitation wavelength 2, it is especially desirable.

[0014] Although the optimal wavelength selection of the excitation wavelength 1 and the excitation wavelength 2 cannot generally be \*\*\*\*\* (ed) since it changes with the classes of the addition concentration of Tm, or glass ingredient, it can be set up within the limits of each wavelength range of this invention. For example, in Tm:ZBLAN (fluoride glass), 0.68 micrometers (excitation wavelength 1) which can obtain high power semiconductor laser, and 1.40 micrometers (excitation wavelength 2) can be chosen. Although combination of the optimal excitation light power cannot generally be \*\*\*\*\* (ed) since it is dependent on the quality of the material of Tm concentration or optical waveguide, the numerical aperture of waveguide, etc., it is desirable that the excitation power ratio (R) expressed with  $x[\text{power of excitation wavelength 1}]/[\text{power of power + excitation wavelength 2 of excitation wavelength 1}]100\%$  is  $0\% < R \leq 82.5\%$  of range. When the excitation wavelength 2 (wavelength of 1.35–1.45 micrometers) is weaker than this range, it is hard coming to form the inverted population between 3H4 and 3F4, and sufficient magnification effectiveness cannot be acquired. Moreover, since a gain improvement of 2dB or more is achieved to the case where an excitation power ratio (R) excites by excitation wavelength 2 independent one in  $1.5\% \leq R \leq 78\%$  of range, it is especially desirable.

[0015] When using the excitation approach of this invention, if it is the ingredient which can amplify 1.47-micrometer band by Tm addition medium, the thing usable anything is clear. Generally as such an ingredient, the low glass of phonon energy is used, and chalcogenide glass, halide glass, KARUKO halide glass, halide oxide glass, a tellurite glass (tellurite glass), bismuthate glass, a gel money toga lath, gallium acid chloride glass, etc. are especially desirable.

[0016] If it is laser oscillated by the excitation wavelength range of this invention, such as semiconductor laser, dye laser, solid state laser, and gas laser, as excitation laser, the solid state laser and fiber laser which were combined with semiconductor laser especially with a fiber pigtail and a fiber although it was good anything are desirable. The field of a price or size to semiconductor laser is suitable as the excitation light source. Moreover, in order to raise excitation efficiency, completely using the absorption band of Tm, it is also effective to use laser (for example, Raman laser) with a large oscillation wavelength band or to combine two or more laser with which wavelength differs by each excitation wavelength range.

[0017] When it constitutes an optical amplifier, a wavelength division multiplex component (WDM) and an optical element for optical communication like an optical isolator can be used if needed. Moreover, if a gain monitor and a gain identification function are built or attached to amplifier, since the dependability of an optical transmission system will improve, it is desirable. If it is the approach of measuring incidence signal light reinforcement and output signal light reinforcement substantially, what kind of approach may be used for the monitor of gain. When performing wave-length multiple telecommunication, the approach of detecting and supervising for every signal assigned to each wavelength is desirable. An active approach may be used for a gain identification function also by the passive approach. As the passive gain identification approach, the configuration using a light filter is easy. The active gain identification approach consists of a gain monitoring function and a feedback function, and measures incidence signal light reinforcement and output signal light reinforcement substantially, and if it is an approach as for which gain is made to regularity, what kind of approach may be

used for it. Recently, it considers as a multistage configuration and the method of changing the power ratio for every excitation light reinforcement and excitation wavelength of each stage is performed widely. When performing wave-length multiple telecommunication, the approach of carrying out gain equalization for every signal by which it was assigned to each wavelength is desirable. Although it is the same function as gain identification, an output identification function which keeps output signal light reinforcement constant as well as a gain identification function is effective. As for these functions, it is desirable that are a programmable microprocessor etc. and adjustment has become possible automatically by remote operation.

[0018] When it constitutes a laser oscillation machine, optical waveguide can be connected in the shape of a ring, or two or more sets can connect with a serial or juxtaposition, and a high increase in power can be attained. Moreover, the narrow-band oscillation and wavelength adjustable oscillation using a fiber grating etc., and the ultrashort pulse oscillation by pulse compression are also possible.

[0019] As mentioned above, usual 1.4–1.52-micrometer band optical amplifier more efficient than one wave or two-wave excitation or a usual laser oscillation machine can be offered by considering excitation wavelength as two-wave excitation with a wavelength band [ the band of 0.65–0.75 micrometers ], and a wavelength of 1.35–1.45 micrometers.

[0020] Although an example is given and this invention is explained further hereafter, this invention is not limited to these examples.

[0021]

[Example] 0.2-mol % and fluoride [ which was added ] glass fiber was used for example 1 core for Tm. The basic glass presentation of a core and a clad is shown below. Tm has permuted La. A figure is mol%.

core: — 51ZrF<sub>4</sub>–19BaF<sub>2</sub>–4.5LaF<sub>3</sub>–2YF<sub>3</sub>–2AlF<sub>3</sub>–13.5LiF–8PbF<sub>2</sub> clad: — 40HF<sub>4</sub>–10ZrF<sub>4</sub>–19BaF — the relative index difference of this fiber was [ 0.65 micrometers and the core diameter of cut-off wavelength ] 2.2 micrometers 1.1% three to 22 NaF three to 4 AlF three to 2 YF two to 3 LaF. Fiber length is 14m.

[0022] Next, the configuration of the optical amplifier used for measurement is shown in drawing 4. For excitation, the semiconductor laser 2 with a wavelength of 0.69 micrometers and the semiconductor laser 3 with a wavelength of 1.40 micrometers were multiplexed, and it has combined with the fluoride fiber 1 for optical amplification through the optical multiplexing/demultiplexing component 4 and the quartz fiber 5 of high NA. Association of a quartz fiber 5 and the fluoride fiber 1 used the V groove block, and in order that a junction end face might reduce reflection loss, it carried out optical polish and was aslant fixed with the optical adhesives of an ultraviolet curing mold. Incidence of the signal light from the signal generator 6 of 1.47-micrometer band was carried out to the fiber for magnification through the optical multiplexing/demultiplexing component 4, and small-signal gain was measured in the measuring instrument 8 through the amplified outgoing radiation light to the optical isolator 7. Input signal light is a continuation light the wavelength of 1.47 micrometers and whose power are –30dBm. The small-signal gain at the time of exciting on single wavelength with a wavelength of 1.40 micrometers and the small-signal gain at the time of exciting to coincidence with two waves are shown in drawing 5. The input control power in two-wave excitation is two waves of sum total power, and the excitation power ratio (R) is being fixed to 40%. In two-wave excitation, a gain improvement of 5dB or more is made to single wavelength excitation, and it turns out that the threshold is also low.

[0023] It experimented by changing an excitation power ratio (R) with the same configuration using the same fluoride fiber as example 2 example 1. The incidence conditions and excitation wavelength of signal light were the same as that of an example 1, it fixed to 100mW and two waves of sum total power was measured. A result is shown in drawing 6. It turns out that an excitation power ratio (R) with an excitation wavelength of 0.69 micrometers is high interest profit from the case of wavelength [ of 1.40 micrometers ] single wavelength excitation in 0<R≤82.5% of range. Especially in the range whose power ratio is 1.5<R≤78%, it was 2dB or more high interest profit from the gain in 1.4-micrometer single wavelength excitation.

[0024] With the same configuration as example 3 example 1, the magnification medium was used as In system fluoride glass fiber, and small-signal gain was measured. The addition concentration of Tm is 0.2-mol% and has permuted a part of Gd. A figure is mol%. core presentation: — 18InF<sub>3</sub>–12GaF<sub>3</sub>–20ZnF<sub>2</sub>–27BaF<sub>2</sub>–3PbF<sub>2</sub>–10GdF<sub>3</sub>–10YF<sub>3</sub> clad presentation: — 18InF<sub>3</sub>–12GaF<sub>3</sub>–20ZnF<sub>2</sub>–18BaF<sub>2</sub>–12SrF<sub>2</sub>–10GdF<sub>3</sub>–10YF<sub>3</sub> — the relative index difference of this fiber was 1.1%, and cut-off wavelength was 0.65 micrometers. The fiber length which used it for measurement is 14m. Excitation used semiconductor laser with a wavelength of 0.695 micrometers and semiconductor laser with a wavelength of 1.38 micrometers. As a result of measuring the gain the case of 1.38-micrometer single wavelength excitation, and in two-wave excitation (excitation power (ratio R) =40%) like an example 1, as shown in drawing 7, the direction of two-wave excitation was 5dB or more high interest profit.

[0025] With the same configuration as example 4 example 1, the magnification medium was used as tellurite system oxide glass fiber, and small-signal gain was measured. The addition concentration of Tm is 0.6-mol% and has permuted a part of La. A figure is mol%. core presentation: — 90TeO<sub>2</sub>–8BaO–2La<sub>2</sub>O<sub>3</sub> clad presentation: — the relative index difference of 3Y<sub>2</sub>O<sub>8</sub>TeO<sub>2</sub>–16BaO–3 fiber was 0.7%, and cut-off wavelength was 0.65 micrometers. The fiber length which used it for measurement is 2m. Excitation used semiconductor laser with a wavelength of 0.695 micrometers and semiconductor laser with a wavelength of 1.40 micrometers. An excitation power ratio (R) is 40%. As shown in drawing 8, in two-wave \*\*, it was 3dB or more high interest profit from the case of 1.40-micrometer single wavelength excitation.

[0026] With the same configuration as example 5 example 1, the magnification medium was used as bismuth system oxide glass fiber, and small-signal gain was measured. The addition concentration of Tm is 0.6-mol% and has permuted a part of La.

[0027]

core glass presentation: — 75Bi<sub>2</sub>O<sub>3</sub>–18 B–2O<sub>3</sub>–5SiO<sub>2</sub>–2La<sub>2</sub>O<sub>3</sub> clad glass presentation: — 70 Bi, the relative index difference of 2O<sub>3</sub>–15CdO–15 B–2O<sub>3</sub> fiber was 1.2%, and cut-off wavelength was 0.65 micrometers. The fiber length which used it for measurement is 2m. Excitation used semiconductor laser with a wavelength of 0.68 micrometers and semiconductor laser with a wavelength of 1.40 micrometers. As a result of measuring the gain the case of 1.40-micrometer single wavelength excitation, and in two-wave excitation (excitation power (ratio R) =50%) like an example 1, as shown in drawing 9, the direction of two-wave excitation was 3dB or more high interest profit.

[0028] With the same configuration as example 6 example 1, the magnification medium was used as gallium acid chloride glass fiber, and small-signal gain was measured. The addition concentration of Tm is 0.3-mol%.

core presentation: — 30K<sub>2</sub>O–30Ta<sub>2</sub>O<sub>3</sub>–40Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub> clad presentation: — 30K<sub>2</sub>O–25Ta<sub>2</sub>O<sub>3</sub>–45Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub> — the relative index difference of this fiber was 1.2%, and cut-off wavelength was 0.65 micrometers. The fiber length which used it for measurement is 6m. Excitation used semiconductor laser with a wavelength of 0.695 micrometers and semiconductor laser with a wavelength of 1.35 micrometers. As a result of measuring the case of 1.35-micrometer single wavelength excitation, and the case of two-wave excitation (excitation power

(ratio R)=50%) like an example 1, as shown in drawing 10, the direction of two-wave excitation was 3dB or more high interest profit.

[0029] With the same configuration as example 7 example 1, the magnification medium was used as sulfide glass fiber, and small-signal gain was measured. The addition concentration of Tm is 0.2-mol%. A figure is mol%.

[0030] core: — 30In2S3-40Ga2S3-30La2S3 clad: — 12aluminum(PO3)3-11AlF3-30.5RF2-46.5MF2 (R:Mg, calcium M:Sr, Ba) Tm has permuted La. The relative index difference of this waveguide was 1.2%, and cut-off wavelength was 0.65 micrometers. The fiber used for measurement is 10m in die length. Excitation uses the oscillation wavelength of 0.70 micrometers, and 1.45-micrometer semiconductor laser, and an excitation power ratio (R) is 20%. Moreover, signal light wave length is 1.50 micrometers, and power is -30dBm. As a result of measuring the gain the case of 1.45-micrometer single wavelength excitation, and in two-wave excitation like an example 1, as shown in drawing 11, the direction of two-wave excitation was 3dB or more high interest profit.

[0031] Signal light power with a wavelength of 1.47 micrometers was changed using the same configuration with the same fiber as example 8 example 1, and power conversion efficiency (PCE) was measured. The following formulas define power conversion efficiency.

[0032]  $PCE(\%) = [(output\ signal\ power) - (input\ signal\ power)] / (excitation\ power) \times 100$  excitation power was fixed to a total of 100mW. In the case of two waves, semiconductor laser with a wavelength of 0.69 micrometers and semiconductor laser with a wavelength of 1.40 micrometers were used. The excitation power ratio (R) is fixed to 40%. The power conversion efficiency at the time of exciting to coincidence with the case where it excites on single wavelength with a wavelength of 1.40 micrometers, and two waves is shown in drawing 12. In two-wave excitation, it turns out that power conversion efficiency is sharply improvable to single wavelength excitation.

[0033]

[Effect of the Invention] By using the excitation approach of this invention, efficient 1.4-1.52-micrometer band optical amplifier or 1.4-1.52-micrometer band laser oscillation machine can be built.

---

[Translation done.]

## \* NOTICES \*

JPO and NCIP are not responsible for any damages caused by the use of this translation.

- 1.This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
- 2.\*\*\* shows the word which can not be translated.
- 3.In the drawings, any words are not translated.

---

DESCRIPTION OF DRAWINGS

---

## [Brief Description of the Drawings]

[Drawing 1] It is the level scheme and absorption spectrum of Tm.

[Drawing 2] It is drawing explaining the level of Tm, and the excitation approach of this invention.

[Drawing 3] It is drawing showing the absorption cross section from each level of Tm.

[Drawing 4] It is the block diagram of the amplifier in an example 1.

[Drawing 5] It is drawing showing the excitation power dependency of the amplification factor in an example 1.

[Drawing 6] It is drawing showing the power ratio dependency of the excitation wavelength 1 of an amplification factor, and the excitation wavelength 2 in an example 2.

[Drawing 7] It is drawing showing the excitation power dependency of the amplification factor in an example 3.

[Drawing 8] It is drawing showing the excitation power dependency of the amplification factor in an example 4.

[Drawing 9] It is drawing showing the excitation power dependency of the amplification factor in an example 5.

[Drawing 10] It is drawing showing the excitation power dependency of the amplification factor in an example 6.

[Drawing 11] It is drawing showing the excitation power dependency of the amplification factor in an example 7.

[Drawing 12] It is drawing showing the signal light power dependency of the power conversion efficiency in an example 8.

## [Description of Notations]

1 Fiber for Optical Amplification

2 Light Source Which Supplies Excitation Wavelength 1

3 Light Source Which Supplies Excitation Wavelength 2

4 Optical Multiplexing/demultiplexing Component

5 High NA Quartz Fiber

6 Signal Light Generator of Wavelength Band of 1.4-1.52 Micrometers

7 Optical Isolator

8 Measuring Instrument

---

[Translation done.]

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2002-314176

(P2002-314176A)

(43) 公開日 平成14年10月25日 (2002. 10. 25)

(51) Int.Cl.<sup>7</sup>

識別記号

F I

データベース (参考)

H 0 1 S 3/094

H 0 1 S 3/094

S 5 F 0 7 2

審査請求 未請求 請求項の数 5 O L (全 11 頁)

(21) 出願番号 特願2001-114238 (P2001-114238)

(22) 出願日 平成13年4月12日 (2001. 4. 12)

(71) 出願人 000002200

セントラル硝子株式会社

山口県宇部市大字沖宇部5253番地

(72) 発明者 井上 博之

東京都武蔵野市境南町 1-20-9

(72) 発明者 久保田 能徳

山口県宇部市大字沖宇部5253番地 セント

ラル硝子株式会社化学研究所内

(74) 代理人 100108671

弁理士 西 義之

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 1. 4~1. 52  $\mu$ m帯の光増幅器またはレーザー発振器の励起方法

(57) 【要約】

【課題】 1. 4~1. 52  $\mu$ m帯の光増幅器またはレーザー発振器の励起方法を提供する。

【解決手段】 少なくとも励起光源、合分波器、増幅用光導波路を備えた1. 4~1. 52  $\mu$ m帯光増幅器において、波長0. 65~0. 75  $\mu$ mの範囲から少なくとも1波長と、波長1. 35~1. 45  $\mu$ mの範囲から少なくとも1波長の、互いに異なる二種類以上の波長で励起する。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 少なくとも励起光源、合分波器、増幅用光導波路を備えた1.4～1.52 $\mu$ m帯光増幅器において、増幅用光導波路のコア部はTmを含有し、波長0.65～0.75 $\mu$ mの範囲から少なくとも1波長（励起波長1）と、波長1.35～1.45 $\mu$ mの範囲から少なくとも1波長（励起波長2）の、互いに異なる二種類以上の波長で励起することを特徴とする、1.4～1.52 $\mu$ m帯光増幅器の励起方法。

【請求項2】 少なくとも励起光源、合分波器、増幅用光導波路を備えた1.4～1.52 $\mu$ m帯レーザー発振器において、波長0.65～0.75 $\mu$ mの範囲から少なくとも1波長（励起波長1）と、波長1.35～1.45 $\mu$ mの範囲から少なくとも1波長（励起波長2）の、互いに異なる二種類以上の波長で励起することを特徴とする、1.4～1.52 $\mu$ m帯レーザー発振器の励起方法。

【請求項3】 増幅用光導波路のコア部が、Tmを添加したハライド酸化物ガラス、ハライドガラス、カルコゲナイドガラス、カルコハライドガラス、テルライトガラス、ビスマス酸塩ガラス、ゲルマネートガラス、ガリウム酸塩ガラスから選ばれる少なくとも一種類のガラスからなることを特徴とする、請求項1または請求項2に記載の1.4～1.52 $\mu$ m帯の光増幅器の励起方法または1.4～1.52 $\mu$ m帯レーザー発振器の励起方法。

【請求項4】 励起光源の少なくとも一つが半導体レーザーであることを特徴とする、請求項1から請求項3のいずれか記載の1.4～1.52 $\mu$ m帯光増幅器の励起方法または1.4～1.52 $\mu$ m帯レーザー発振器の励起方法。

【請求項5】 波長0.65～0.75 $\mu$ mの範囲から選ばれる励起波長の励起パワー（P1）と、波長1.35～1.45 $\mu$ mの範囲から選ばれる励起波長の励起パワー（P2）の比率（R）が、 $R = P1 / (P1 + P2) \times 100\%$ で表されるとき、パワー比率が0% < R ≤ 82.5%の範囲内にあることを特徴とする、請求項1～請求項4のいずれか記載の1.4～1.52 $\mu$ m帯光増幅器の励起方法または1.4～1.52 $\mu$ m帯レーザー発振器の励起方法。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の属する技術分野】 本発明は、1.4～1.52 $\mu$ m帯の光通信などで用いられる光増幅器またはレーザー発振器の励起方法に関するものである。

## 【0002】

【従来の技術】 光通信において、石英ファイバの最低損失波長である1.55 $\mu$ m帯、0分散波長である1.3 $\mu$ m帯が使われてきた。これらの波長帯に対して光増幅器の研究開発が活発に行われ、特に1.55 $\mu$ m帯で大きな成功をおさめてきた。近年になり、インターネット

やデータ伝送の高速大容量化が求められ、通信容量増加の観点から波長多重通信（WDM）が実用化されつつある。しかし、1.55 $\mu$ m帯だけでは、いずれ容量が不足する可能性があり、別の帯域を求める動きが出てきた。特に、1.3から1.7 $\mu$ mまでの石英ファイバーの広い透過波長範囲全域を通信に使用したいという要求が強い。このため、Tmを添加した1.47 $\mu$ m帯や1.65 $\mu$ m帯ファイバー増幅器の研究が盛んに行われている。

## 【0003】

【発明が解決しようとする課題】 1.47 $\mu$ m帯の増幅またはレーザー発振にはTmを添加した低フォノンガラスのファイバーを使用する提案がなされている（1988年第14回欧州光学委員会議事録、D.N.Payne他 Rareearth-doping fiber laser and amplifiers pp49-53.およびIEEE J. Quantum Electronics vol.24(6) (1988) 920-923）。そのTmの準位を図1に示す。1.47 $\mu$ m帯の増幅とは $^3H_4 \rightarrow ^3F_4$ の誘導放出過程を利用して行われるものであり、実際には1.4～1.52 $\mu$ mの幅広い利得、増幅帯域を持っている。励起方法としては、1.06 $\mu$ mで二段階励起する方法（特開平5-275792）、0.7～0.89 $\mu$ m帯でTmの $^3H_4$ を直接励起する方法（特開平4-265251）、1.2 $\mu$ m帯で二段階励起する方法（特開平4-180279）などが開示されている。しかし、Tmの $^3H_4$ 準位の蛍光寿命は $^3F_4$ の蛍光寿命よりも短く、増幅またはレーザー発振に必要な反転分布を得るとは困難であることが知られている。このような特性は自己停止（Self terminating）機構と言われ、高効率な増幅またはレーザー発振に不向きとされている。このため、 $^3F_4$ を短寿命化するために、Eu、Tb、Ho、Prなどを添加する方法（特開平4-265251、特開平5-145168、特開平7-45899）が開示されている。しかし、これらの共添加元素は、一定の濃度以上添加すると、目的波長の1.4～1.52 $\mu$ m帯にも吸収の握がかかるなどして、好ましくないエネルギー移動を生じ、1.4～1.52 $\mu$ m帯の増幅効率に悪影響を与えることから、増幅媒質の組成に制限がある。また、Tm添加ファイバーを二波長で励起する提案もなされているが、多くはアップコンバージョン過程を利用した短波長光源である（例えば、特開平5-319858、特開平8-307000など）。

【0004】 これに対し、最近になって励起効率とパワー変換効率の向上を目的とした研究が活発になってきた。特開2001-007426や特開2001-024263では、二波長励起によって従来の一波長または二波長励起よりも高効率で増幅できる事が示されている。また、S.Aozasa他、OF C2001 Technical digest series, PD1やF.Ray他、OFC2001 Technical digest series, PD2では、1.40 $\mu$ mで一波長励起や1.24 $\mu$ mと1.40 $\mu$ mの二波長励起により40%を超えるパワー変換効率を得られることを報告している。

【0005】しかし、波長1.40 $\mu\text{m}$ の一波長で励起するS.Aozasaらの方法では、対応する吸収がないために基底状態である $^3\text{H}_2$ から効率よく上準位に励起できない(図1参照)。また、F.Rayらの方法では発光下準位である $^3\text{H}_2 \rightarrow ^3\text{H}_1 \rightarrow ^3\text{F}_4 \rightarrow ^3\text{H}_4$ の複雑な過程で励起することになり、また発光下準位である $^3\text{F}_4$ を通ることから、反転分布を形成する最適な励起方法とは言えない。これに対し、特開2001-007426の方法では基底からの直接励起を利用しているので、前記の二法よりも良好な励起方法だが、0.8 $\mu\text{m}$ 帯の強力な励起光によって $^3\text{H}_2 \rightarrow ^3\text{H}_1$ の誘導放出が起こるため、必ずしも高効率な励起に適しているとは言えない。特開2001-024263の方法では、励起光による誘導放出の欠点を克服しているが、量子効率の面で改善の余地がある。

【0006】

【課題を解決するための具体的手段】本発明者らは、前記問題を包括的に考慮し、鋭意検討の結果、 $^3\text{H}_2$ と $^3\text{F}_4$ 間で効率よく反転分布を形成できるだけでなく、 $^3\text{H}_2 \rightarrow ^3\text{H}_1$ の放射を抑制し高効率で増幅できる励起方法を見だし、本発明に到達した。

【0007】すなわち本発明は、Tmをコアに含有した光導波路を増幅媒質とした、1.4~1.52 $\mu\text{m}$ 帯光増幅器またはレーザー発振装置において、少なくとも励起光源として0.65~0.75 $\mu\text{m}$ の範囲から少なくとも1波長と1.35~1.45 $\mu\text{m}$ の範囲から少なくとも1波長の、互いに異なる二種類以上の波長で励起することにより、高効率な1.4~1.52 $\mu\text{m}$ 帯光増幅器またはレーザー発振器を提供するものである。

【0008】以下本発明について詳述する。

【0009】Tmを添加した高効率な1.4~1.52 $\mu\text{m}$ 帯(エネルギー差:約6800 $\text{cm}^{-1}$ )の光増幅またはレーザー発振には、フォノンエネルギー700 $\text{cm}^{-1}$ 以下の低フォノンエネルギー材料が適しており、シリカ系酸化物やホウ酸系酸化物のような高フォノンエネルギー材料(一般に1000 $\text{cm}^{-1}$ 程度)は、不適当とされている。このような低フォノンエネルギーガラス材料としては、ハライドガラス、カルコゲナイドガラス、ハライド酸化物ガラス、カルコハライドガラス、テルライトガラス(亜テルル酸塩ガラス)、ビスマス酸塩ガラス、ゲルマネートガラス、ガリウム酸塩ガラスなどが知られている。ところが、これらの低フォノンエネルギーガラス材料は、アップコンバージョンレーザー材料としてもよく知られており、通常の励起方法では赤や青の発光に励起エネルギーが消費され、1.4~1.52 $\mu\text{m}$ 帯の発光効率はきわめて低いことが知られている。また、 $^3\text{H}_2$ の蛍光寿命は発光下準位の $^3\text{F}_4$ の蛍光寿命よりも短く、自己停止機構の代表例とされ、レーザー発振自体が困難なことが知られており、発振に成功した場合でも効率はきわめて低い(例えば J.Y.Allain 他, Electron ics Lett. 25(1989)1660-1662)。このため、前述の様

々な方法が試みられてきたが、いずれも最適な方法ではなかった。

【0010】これらの方法に対し、本発明は波長0.65~0.75 $\mu\text{m}$ の範囲から少なくとも1波長と、波長1.35~1.45 $\mu\text{m}$ の範囲から少なくとも1波長の、互いに異なる二種類以上の波長で励起することで、反転分布の形成が容易になり、しかも $^3\text{H}_2 \rightarrow ^3\text{H}_1$ の放射が起こりにくく、低い励起パワーで高効率に増幅あるいはレーザー発振可能であることを見いだしたものである。

【0011】本発明の励起方法をさらに詳しく説明する(図2)。まず、光導波路のコアに含有されているTmイオンを、波長0.65~0.75 $\mu\text{m}$ から選ばれる少なくとも1波長の励起光(以下、励起光1とする)によって、基底状態( $^3\text{H}_2$ ) $\rightarrow ^3\text{F}_4$ または $^3\text{F}_3$ に励起する(励起過程1)。次に、無輻射緩和過程(放射過程1)を経て $^3\text{H}_2$ に緩和され、 $^3\text{H}_2 \rightarrow ^3\text{F}_4$ の遷移(放射過程2)で1.4~1.52 $\mu\text{m}$ 帯の発光または増幅を生じる。次に、波長1.35~1.45 $\mu\text{m}$ の範囲から選ばれる少なくとも1波長の励起光(以下、励起光2とする)によって、発光下準位( $^3\text{F}_4$ ) $\rightarrow ^3\text{H}_1$ のサブレベルに励起する(励起過程2)。この励起によって $^3\text{F}_4$ の存在確率を実効的に減少させ、自己停止機構を回避できるだけでなく、最高の量子効率を得られる。最後に、再び $^3\text{H}_2 \rightarrow ^3\text{F}_4$ (放射過程2)により1.4~1.52 $\mu\text{m}$ 帯の発光が生じる。また、この励起方法では励起光2による $^3\text{H}_2 \rightarrow ^3\text{F}_3$ の過程(励起過程3)によって、 $^3\text{H}_2$ の存在確率を効率よく減少させられる特徴がある。

【0012】 $^3\text{H}_2$ の存在確率が増加すると、Tmの吸収スペクトルおよびESAスペクトル(図3)より1.4~1.7 $\mu\text{m}$ の非常に広い波長域で励起状態吸収(ESA: Excited State Absorption)が生じ、増幅効率を著しく低下させることが判る。このESAを、本発明は効率よく避けることができるが、さらに1.5~1.7 $\mu\text{m}$ 帯の励起光を追加しても良い。この方法は1.5 $\mu\text{m}$ 付近のESA損失( $^3\text{H}_2 \rightarrow ^3\text{F}_3$ )を低減するため、長波長側での利得特性を改善する効果もあり(T.Kasamatsu他, Proceedings OAA'99, PDP1)、利得波長シフトTm添加ファイバー増幅器(GS-TDFA: Gain Shifted Thulium Doped Fiber Amplifier)として注目されている方法である。

【0013】本特許の励起方法では、図2から判るとおり、 $^3\text{F}_4$ を仮想の基底準位として用いた準3準位過程になっており、反転分布の形成はきわめて容易である。また、この方法では $^3\text{H}_2 \rightarrow ^3\text{H}_1$ のエネルギー差に相当する0.8 $\mu\text{m}$ 帯の強い光が存在しないため、 $^3\text{H}_2 \rightarrow ^3\text{H}_1$ の誘導放射が起こりにくく、 $^3\text{H}_2 \rightarrow ^3\text{F}_4$ の遷移確率を高めることができる。また、励起波長1の中でも、0.67~0.72 $\mu\text{m}$ 帯は、 $^3\text{H}_2 \rightarrow ^3\text{D}_2$ と $^3\text{H}_2 \rightarrow ^3\text{G}_4$ のアップコンバージョン過程を同時に回避できるため、特に好ま

しい。また、励起波長2の中でも、1.35~1.42  $\mu\text{m}$ 帯は $^3\text{H}_1$ 、 $^3\text{F}_4$ の増幅過程に対して雑音要因となりにくいので、特に好ましい。

【0014】励起波長1と励起波長2の最適な波長選択は、 $\text{Tm}$ の添加濃度やガラス材料の種類によって変化するため、一概には規定できないが、本発明の各波長帯の範囲内で設定することができる。例えば $\text{Tm}:\text{ZBLAN}$ （フッ化物ガラス）ではハイパワー半導体レーザーの入手が可能な0.68  $\mu\text{m}$ （励起波長1）と1.40  $\mu\text{m}$ （励起波長2）を選ぶことができる。最適な励起光パワーの組み合わせは、 $\text{Tm}$ 濃度や光導波路の材質、導波路の開口数などに依存するため、一概には規定できないが、（〔励起波長1のパワー〕／〔励起波長1のパワー+励起波長2のパワー〕） $\times 100\%$ で表される励起パワー比率（ $R$ ）が $0\% < R \leq 82.5\%$ の範囲であることが好ましい。この範囲よりも励起波長2（波長1.35~1.45  $\mu\text{m}$ ）が弱い場合は、 $^3\text{H}_1$ と $^3\text{F}_4$ の間で反転分布を形成しにくくなり、十分な増幅効率を得られない。また、励起パワー比率（ $R$ ）が $1.5\% \leq R \leq 78\%$ の範囲では、励起波長2単独で励起する場合に対し20

dB以上の利得改善が図られるので、特に好ましい。

【0015】本発明の励起方法を使用する場合、 $\text{Tm}$ 添加媒質で1.47  $\mu\text{m}$ 帯の増幅が可能な材料なら何でも使用可能であることは明らかである。このような材料としては、フォノンエネルギーの低いガラスが一般的に利用されており、特にカルコゲナイドガラス、ハライドガラス、カルコハライドガラス、ハライド酸化物ガラス、テルライトガラス（亜テルル酸塩ガラス）、ヒスマス酸塩ガラス、ゲルマネートガラス、ガリウム酸塩ガラスなどが好ましい。

【0016】励起レーザーとしては、半導体レーザー、色素レーザー、固体レーザー、ガスレーザーなど、本発明の励起波長帯で発振するレーザーなら何でも良いが、特にファイバービグテール付きの半導体レーザー、ファイバーと結合した固体レーザー、ファイバーレーザーが好ましい。価格やサイズの面から、半導体レーザーが励起光源として好適である。また、 $\text{Tm}$ の吸収帯を完全に利用して励起効率を高めるために、広い発振波長帯域を持つレーザー（例えばラマンレーザー）を用いることや、各励起波長帯で波長の異なる複数のレーザーを組み

合わせることも効果的である。

【0017】光増幅器を構成する場合は、波長分割多重素子（WDM）や光アイソレータのような光通信用光学素子を、必要に応じて使用することができる。また、増幅器に利得監視や利得等化機能を内蔵または付属させると、光通信システムの信頼性が向上するので好ましい。利得の監視には、実質的に入射信号光強度と出力信号光強度を比較できる方法なら、どんな方法を用いても良い。波長多重通信を行う場合は、各波長に割り当てられた信号ごとに検出、監視できる方法が望ましい。利得等

化機能は、受動的な方法でも能動的な方法でも良い。受動的な利得等化方法としては、光学フィルターを利用した構成が簡単である。能動的な利得等化方法は、利得監視機能とフィードバック機能から構成され、実質的に入射信号光強度と出力信号光強度を比較し、利得を一定にできる方法なら、どんな方法を用いても良い。最近では多段構成とし、各段の励起光強度や励起波長ごとのパワー比を変化させる方法が広く行われている。波長多重通信を行う場合は、各波長に割り当てられた信号ごとに利得等化できる方法が望ましい。利得等化と同様の機能であるが、出力信号光強度を一定に保つような、出力等化機能も利得等化機能と同じように有効である。これらの機能は、遠隔操作でプログラミング可能なマイクロプロセッサなどで、自動的に調整可能になっていることが好ましい。

【0018】レーザー発振器を構成する場合は、光導波路をリング状に接続したり、直列または並列に複数台接続して、高出力化を図ることができる。また、ファイバードレーティングなどを用いた狭帯域発振、波長可変発振や、パルス圧縮による超短パルス発振も可能である。

【0019】以上のように、励起波長を波長0.65~0.75  $\mu\text{m}$ 帯と波長1.35~1.45  $\mu\text{m}$ の二波長励起とすることで、通常の一波長または二波長励起よりも高効率な1.4~1.52  $\mu\text{m}$ 帯光増幅器またはレーザー発振器を提供できる。

【0020】以下、実施例を挙げて本発明をさらに説明するが、本発明はこれらの実施例に限定されるものではない。

#### 【0021】

#### 30 【実施例】実施例1

コアに $\text{Tm}$ を0.2mol%、添加したフッ化物ガラスファイバーを用いた。コアとクラッドの基本ガラス組成を以下に示す。 $\text{Tm}$ は、 $\text{La}$ を置換している。数字はmol%である。

コア：51ZrF<sub>4</sub>-19BaF<sub>2</sub>-4.5LaF<sub>3</sub>-2YF<sub>3</sub>-2AlF<sub>3</sub>-13.5LiF-8PbF<sub>2</sub>

クラッド：40HfF<sub>4</sub>-10ZrF<sub>4</sub>-19BaF<sub>2</sub>-3LaF<sub>3</sub>-2YF<sub>3</sub>-4AlF<sub>3</sub>-22NaF

このファイバーの比屈折率差は1.1%、カットオフ波長は0.65  $\mu\text{m}$ 、コア直径は2.2  $\mu\text{m}$ であった。ファイバー長は14mである。

【0022】次に測定に使用した光増幅器の構成を図4に示す。励起には波長0.69  $\mu\text{m}$ の半導体レーザー2と、波長1.40  $\mu\text{m}$ の半導体レーザー3を合波し、光合分波素子4と高NAの石英ファイバー5を介して光増幅用フッ化物ファイバー1と結合している。石英ファイバー5とフッ化物ファイバー1の結合はV溝ブロックを利用し、接合端面は反射損失を低減するため斜めに光学研磨して、紫外線硬化型の光学接着剤で固定した。1.47  $\mu\text{m}$ 帯の信号発生器6からの信号光を光合分波素子

4を介して増幅用ファイバーに入射し、増幅された出射光を光アイソレーター7に通して計測器8において小信号利得の測定を行った。入力信号光は波長1.47 $\mu$ m、パワーが-30dBmの連続光である。波長1.40 $\mu$ mの単一波長で励起した場合の小信号利得と、二波長で同時に励起した場合の小信号利得を図5に示す。二波長励起の場合の入力パワーは、二波長の合計パワーであり、励起パワー比率(R)は40%に固定されている。二波長励起では単一波長励起に対して5dB以上の利得改善が行われ、しきい値も低くなっていることが判る。

#### 【0023】実施例2

実施例1と同様のフッ化物ファイバーを用い、同様の構成で励起パワー比率(R)を変えて実験を行った。信号光の入射条件および励起波長は実施例1と同様であり、二波長の合計パワーは100mWに固定して計測した。結果を図6に示す。励起波長0.69 $\mu$ mの励起パワー比率(R)が0<R $\leq$ 82.5%の範囲で、波長1.40 $\mu$ m単一波長励起の場合よりも高利得であることが判る。特に、パワー比率が1.5 $\leq$ R $\leq$ 78%の範囲では、1.4 $\mu$ m単一波長励起の場合の利得よりも2dB以上高利得であった。

#### 【0024】実施例3

実施例1と同様の構成で、増幅媒質をIn系フッ化物ガラスファイバーとし、小信号利得を測定した。Tmの添加濃度は0.2mol%であり、Gdの一部を置換している。数字はmol%である。

コア組成: 18InF<sub>3</sub>-12GaF<sub>3</sub>-20ZnF<sub>2</sub>-27BaF<sub>2</sub>-3PbF<sub>2</sub>-10GdF<sub>3</sub>-10YF<sub>3</sub>

クラッド組成: 18InF<sub>3</sub>-12GaF<sub>3</sub>-20ZnF<sub>2</sub>-18BaF<sub>2</sub>-12SrF<sub>2</sub>-10GdF<sub>3</sub>-10YF<sub>3</sub>

このファイバーの比屈折率差は1.1%、カットオフ波長は0.65 $\mu$ mであった。測定に使用したファイバー長は14mである。励起は波長0.695 $\mu$ mの半導体レーザーと、波長1.38 $\mu$ mの半導体レーザーを使用した。実施例1と同様に1.38 $\mu$ m単一波長励起の場合と二波長励起(励起パワー比率(R)=40%)の場合の利得を測定した結果、図7に示すように、二波長励起の方が5dB以上高利得であった。

#### 【0025】実施例4

実施例1と同様の構成で、増幅媒質をテルライト系酸化物ガラスファイバーとし、小信号利得を測定した。Tmの添加濃度は0.6mol%であり、Laの一部を置換している。数字はmol%である。

コア組成: 90TeO<sub>2</sub>-8BaO-2La<sub>2</sub>O<sub>3</sub>

クラッド組成: 81TeO<sub>2</sub>-16BaO-3Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub>

ファイバーの比屈折率差は0.7%、カットオフ波長は0.65 $\mu$ mであった。測定に使用したファイバー長は2mである。励起は波長0.695 $\mu$ mの半導体レーザーと、波長1.40 $\mu$ mの半導体レーザーを使用した。

励起パワー比率(R)は40%である。図8に示すように、二波長励起では1.40 $\mu$ m単一波長励起の場合より3dB以上高利得であった。

#### 【0026】実施例5

実施例1と同様の構成で、増幅媒質をビスマス系酸化物ガラスファイバーとし、小信号利得を測定した。Tmの添加濃度は0.6mol%であり、Laの一部を置換している。

#### 【0027】

コアガラス組成: 75Bi<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-18B<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-55SiO<sub>2</sub>-2La<sub>2</sub>O<sub>3</sub>

クラッドガラス組成: 70Bi<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-15CdO-15B<sub>2</sub>O<sub>3</sub>

ファイバーの比屈折率差は1.2%、カットオフ波長は0.65 $\mu$ mであった。測定に使用したファイバー長は2mである。励起は波長0.68 $\mu$ mの半導体レーザーと、波長1.40 $\mu$ mの半導体レーザーを使用した。実施例1と同様に1.40 $\mu$ m単一波長励起の場合と二波長励起(励起パワー比率(R)=50%)の場合の利得を測定した結果、図9に示すように、二波長励起の方が3dB以上高利得であった。

#### 【0028】実施例6

実施例1と同様の構成で、増幅媒質をガリウム酸塩ガラスファイバーとし、小信号利得を測定した。Tmの添加濃度は0.3mol%である。

コア組成: 30K<sub>2</sub>O-30Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-40Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub>

クラッド組成: 30K<sub>2</sub>O-25Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-45Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub>

このファイバーの比屈折率差は1.2%、カットオフ波長は0.65 $\mu$ mであった。測定に使用したファイバー長は6mである。励起は波長0.695 $\mu$ mの半導体レーザーと、波長1.35 $\mu$ mの半導体レーザーを使用した。実施例1と同様に1.35 $\mu$ m単一波長励起の場合と二波長励起(励起パワー比率(R)=50%)の場合の利得を測定した結果、図10に示すように、二波長励起の方が3dB以上高利得であった。

#### 【0029】実施例7

実施例1と同様の構成で、増幅媒質を硫化物ガラスファイバーとし、小信号利得を測定した。Tmの添加濃度は0.2mol%である。数字はmol%である。

【0030】コア: 30In<sub>2</sub>S<sub>3</sub>-40Ga<sub>2</sub>S<sub>3</sub>-30La<sub>2</sub>S<sub>3</sub>

クラッド: 12Al(PO<sub>3</sub>)<sub>3</sub>-11AlF<sub>3</sub>-30.5RF<sub>3</sub>-46.5MF<sub>3</sub> (R:M q, Ca M: Sr, Ba)

TmはLaを置換している。この導波路の比屈折率差は1.2%、カットオフ波長は0.65 $\mu$ mであった。測定に使用したファイバーは長さ10mである。励起は発振波長0.70 $\mu$ mと1.45 $\mu$ mの半導体レーザーを使用し、励起パワー比率(R)は20%である。また、信号光波長は1.50 $\mu$ m、パワーは-30dBmである。実施例1と同様に1.45 $\mu$ m単一波長励起の場合と、二波長励起の場合の利得を測定した結果、図11に示すように、二波長励起の方が3dB以上高利得であった。

#### 【0031】実施例8

実施例1と同じファイバーで同じ構成を用い、波長1.47  $\mu\text{m}$ の信号光パワーを変化させてパワー変換効率(PCE)を測定した。パワー変換効率は以下の式で定義する。

$$[0032] \text{PCE}(\%) = [(出力信号パワー) - (入力信号パワー)] / (励起パワー) \times 100$$

励起パワーは合計100mWに固定した。二波長の場合、波長0.69  $\mu\text{m}$ の半導体レーザーと、波長1.40  $\mu\text{m}$ の半導体レーザーを使用した。励起パワー比率(R)は40%に固定している。波長1.40  $\mu\text{m}$ の単一波長で励起した場合と二波長で同時に励起した場合のパワー変換効率を図12に示す。二波長励起では単一波長励起に対して大幅にパワー変換効率が改善できることが判る。

[0033]

【発明の効果】本発明の励起方法を用いることにより、高効率な1.4~1.52  $\mu\text{m}$ 帯光増幅器または1.4~1.52  $\mu\text{m}$ 帯レーザー発振器を構築できる。

【図面の簡単な説明】

【図1】Tmの準位図および吸収スペクトルである。

【図2】Tmの準位および本発明の励起方法を説明する図である。

【図3】Tmの各準位からの吸収断面積を示す図である。

【図4】実施例1における増幅器の構成図である。

10

\*【図5】実施例1における増幅率の励起パワー依存性を示す図である。

【図6】実施例2における増幅率の励起波長1と励起波長2のパワー比依存性を示す図である。

【図7】実施例3における増幅率の励起パワー依存性を示す図である。

【図8】実施例4における増幅率の励起パワー依存性を示す図である。

【図9】実施例5における増幅率の励起パワー依存性を示す図である。

【図10】実施例6における増幅率の励起パワー依存性を示す図である。

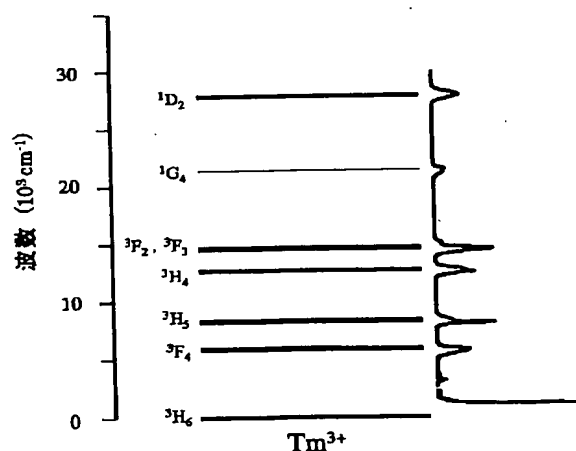
【図11】実施例7における増幅率の励起パワー依存性を示す図である。

【図12】実施例8におけるパワー変換効率の信号光パワー依存性を示す図である。

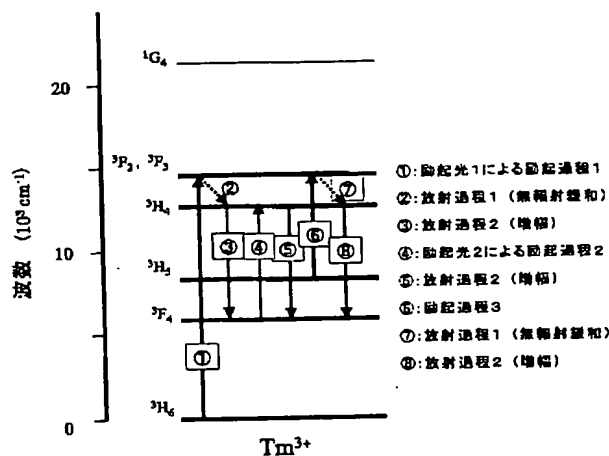
【符号の説明】

- 1 光増幅用ファイバー
- 2 励起波長1を供給する光源
- 3 励起波長2を供給する光源
- 4 光合分波素子
- 5 高NA石英ファイバー
- 6 波長1.4~1.52  $\mu\text{m}$ 帯の信号光発生装置
- 7 光アイソレーター
- 8 計測器

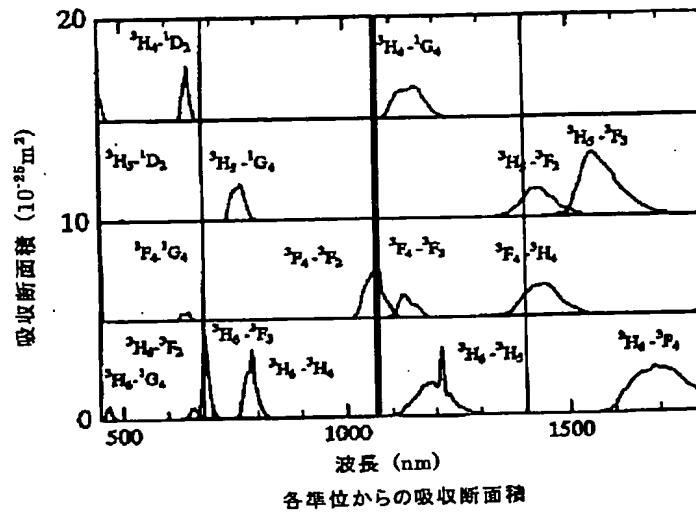
【図1】



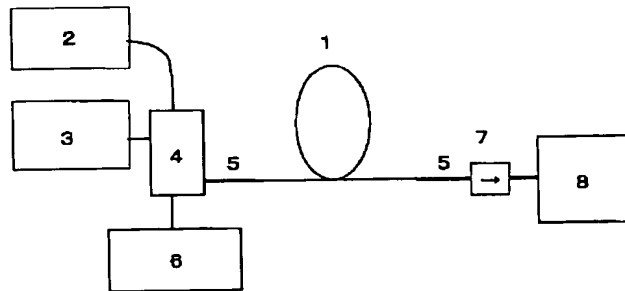
【図2】



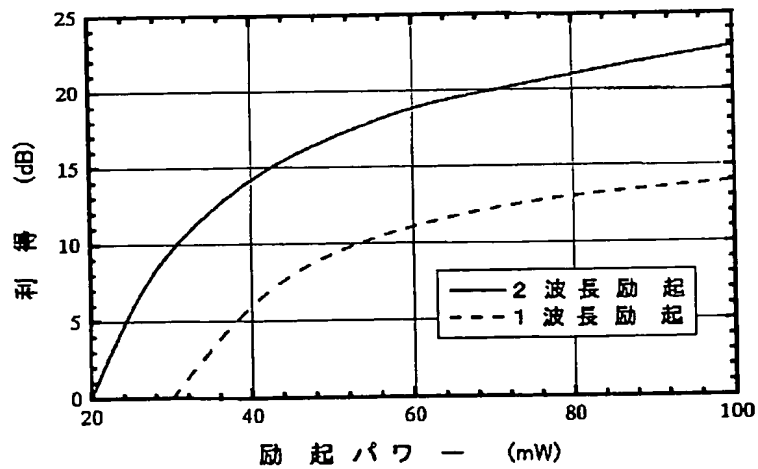
【図3】



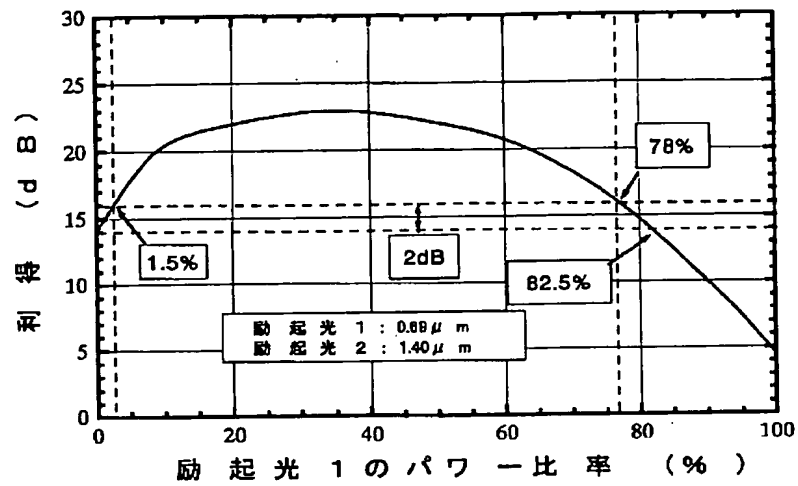
【図4】



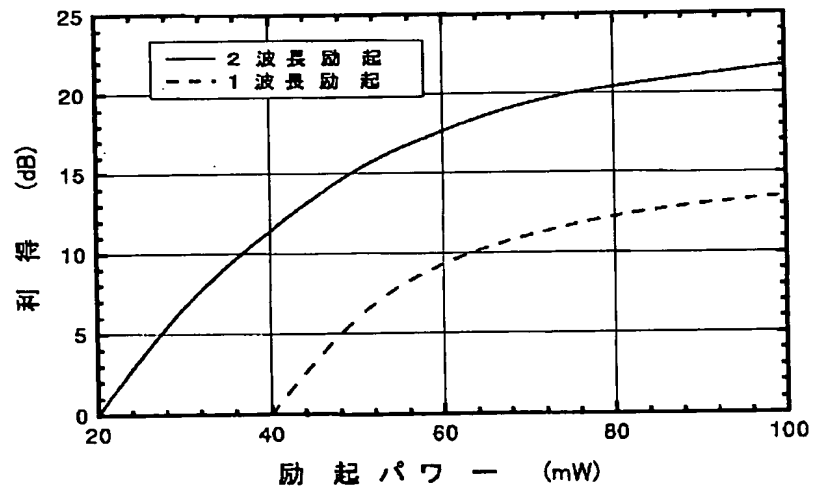
【図5】



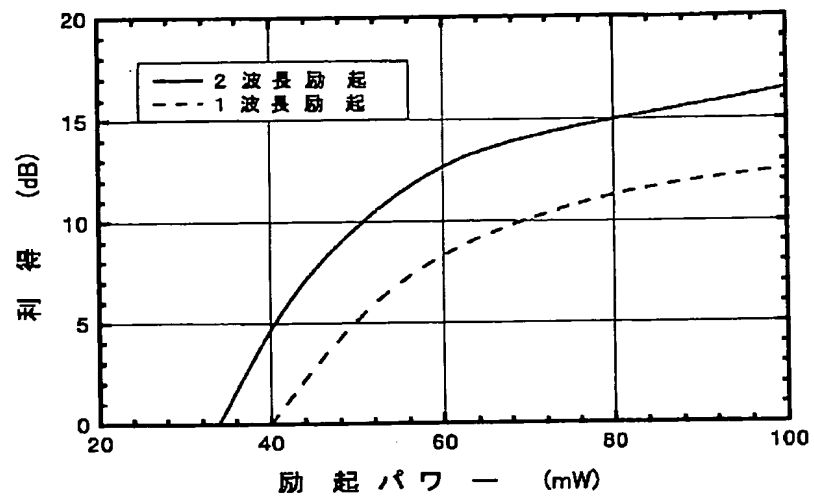
【図6】



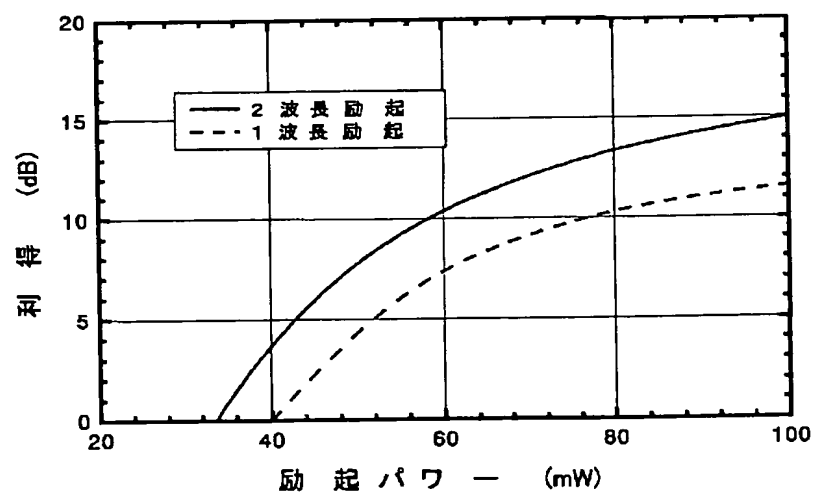
【図7】



【図8】

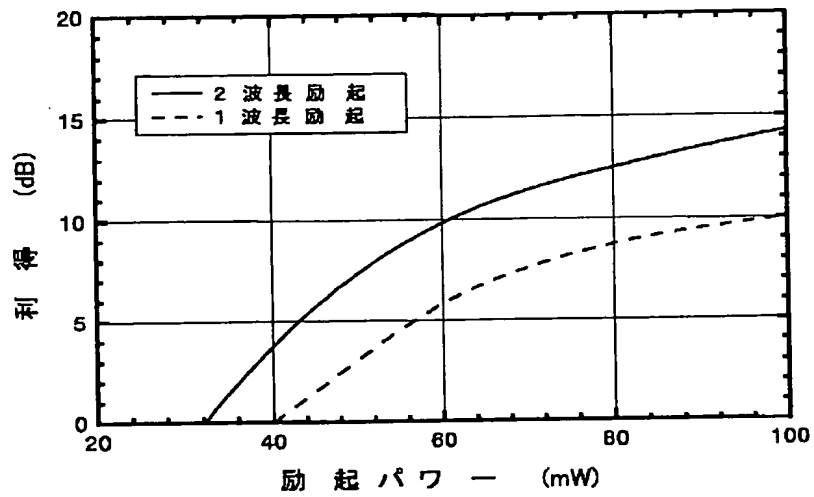


【図9】

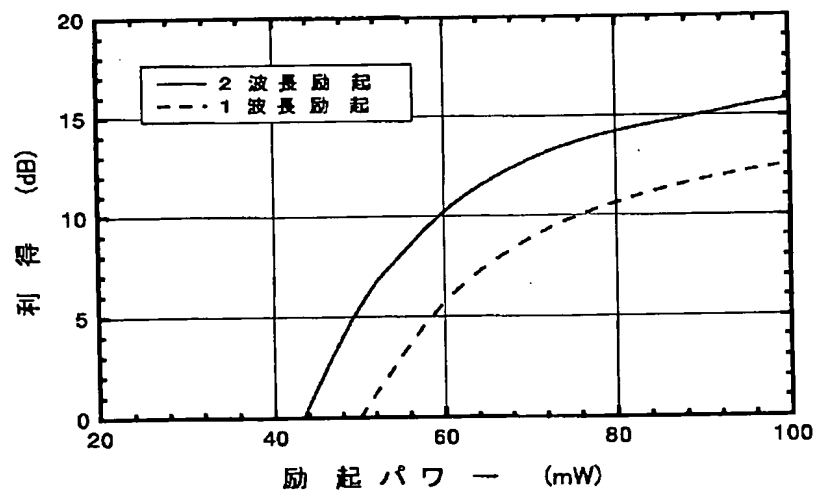




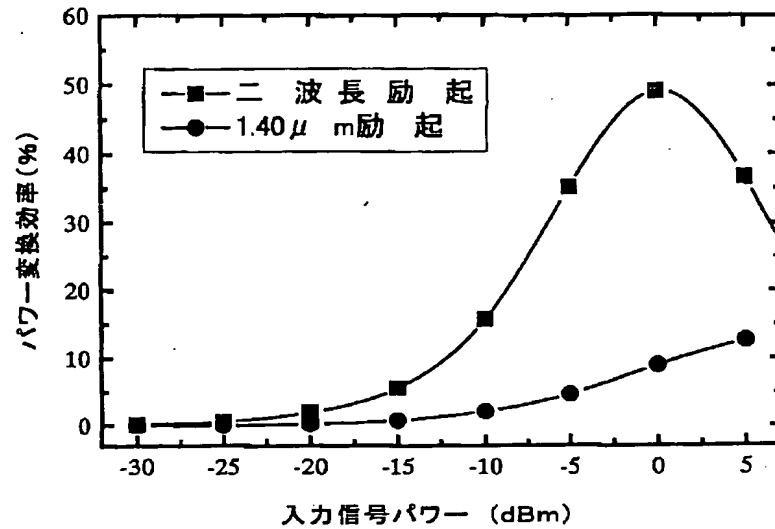
【図10】



【図11】



【図12】



フロントページの続き

(72)発明者 西村 夏哉  
 山口県宇部市大字沖宇部5253番地 セント  
 ラル硝子株式会社化学研究所内  
 (72)発明者 三浦 清貴  
 山口県宇部市大字沖宇部5253番地 セント  
 ラル硝子株式会社化学研究所内

(72)発明者 手島 卓也  
 山口県宇部市大字沖宇部5253番地 セント  
 ラル硝子株式会社化学研究所内  
 (72)発明者 藤原 誠司  
 山口県宇部市大字沖宇部5253番地 セント  
 ラル硝子株式会社化学研究所内  
 Fターム(参考) 5F072 AB07 JJ02 PP07 RR01 YY17